

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 30 APR 2003	
WIPO	PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 44 786.1

Anmeldetag: 26. September 2002

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Mikromechanisches Bauelement und Verfahren

IPC: B 81 B, B 81 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hickmeyer

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

17.09.02 Sb/Bo

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Mikromechanisches Bauelement und Verfahren

Stand der Technik

15

Die Erfindung geht aus von einem mikromechanischen Bauelement und einem Verfahren nach der Gattung der nebengeordneten Ansprüche. Es sind allgemein Gettermaterialien aus porösen Metallen bekannt, die dazu eingesetzt werden, um Gase in abgeschlossenen Systemen zu binden. Es soll in einem solchen abgeschlossenen System, wie beispielsweise einem Hohlraum, ein niedriger Druck eingeschlossen werden, wobei dieser Druck nahe dem Vakuum kommt. Mit Gettermaterialien können die eingeschlossenen Gase gebunden und dadurch der Druck stark reduziert werden.

20

Nachteilig ist bei den bekannten Gettermaterialien, dass der Herstellprozess solcher Gettermaterialien nicht tauglich ist, um in einem Halbleiterherstellungsprozess eingesetzt zu werden. Weiterhin ist nachteilig bei den bekannten Gettermaterialien, dass diese nicht halbleitertauglich sind.

25

Vorteile der Erfindung

30

Das mikromechanische Bauelement und das Verfahren mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche haben dem gegenüber den Vorteil, dass das Gettermaterial aus porösem Silizium vorgesehen ist. Dieses poröse Silizium kann problemlos in einen bestehenden Halbleiterprozess integriert werden. Weiterhin ist poröses Silizium auch sehr gut halbleitertauglich. Weiterhin ist es von Vorteil, dass das poröse Silizium als kostengünstiges Gettermaterial vorgesehen ist. Poröses Silizium bindet beispielsweise Sauerstoff (O₂) durch die Bildung von Siliziumdioxid schon bei geringen Temperaturen.

35

Hierdurch ist es nicht notwendig, zur Aktivierung von Gettermaterial in Form von

porösem Silizium das Bauelement auf hohe Temperaturen aufzuheizen, wie beispielsweise bei einem Hochtemperatur-Tempverfahren. Weiterhin ist es von Vorteil, dass das poröse Silizium in Halbleiterprozesse wie beispielsweise CMOS, BCD und dergleichen problemlos integrierbar ist und das poröse Silizium als Gettermaterial beispielsweise beim Verkappen von Sensoren verwendet werden kann, um den eingeschlossenen Druck zu minimieren. Weiterhin ist es durch die Verwendung von porösem Silizium erfindungsgemäß vorteilhaft vorgesehen, eine große Oberfläche zu erzeugen, insbesondere bis über $1000 \text{ m}^2 \text{ pro cm}^3$, wodurch eine hohe Gettereffektivität erreichbar ist.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in den nebengeordneten Ansprüchen angegebenen mikromechanischen Bauelements und des Verfahrens möglich. Besonders vorteilhaft ist es, dass ein erstes Substrat und ein zweites Substrat vorgesehen ist, wobei zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat eine Zwischenschicht vorgesehen ist. Dadurch ist es mit besonders einfachen Mitteln, beispielsweise mittels Wafer-Bonding, möglich, das erste Substrat und das zweite Substrat dicht miteinander zu verbinden und dadurch den Hohlraum herzustellen. Weiterhin ist es von Vorteil, dass das erste und das zweite Substrat an der Zwischenschicht hermetisch dicht miteinander verbunden sind. Dazu ist es erfindungsgemäß vorteilhaft möglich, das durch das Gettermaterial in Form von porösem Silizium vorgesehene Vakuum in dem Hohlraum zu halten. Weiterhin ist es vorteilhaft, dass ein erstes Substrat und eine Membran vorgesehen sind, wobei der Hohlraum zwischen der Membran und dem ersten Substrat vorgesehen ist und wobei der Bereich des porösen Siliziums im ersten Substrat vorgesehen ist. Dadurch ist es möglich, auf einfache Weise beispielsweise einen Absolutdrucksensor herzustellen, der bereits auf geringe zu messende Drücke ein genaues Messergebnis liefert, weil der zu vergleichende Druck im Innenraum des Hohlraums sehr gering ist.

Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine Prinzipskizze des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements,

5 Figur 2 eine erste Ausführungsform des mikromechanischen Bauelements,

Figur 3 eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements,

10 Figur 4 eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements und

Figur 5 eine vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements.

15

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Bei der Herstellung von mikromechanischen Bauelementen bzw. mikromechanischen Elementen, wie beispielsweise Beschleunigungs-, Drehrate- oder Drucksensoren wird oft
20 oftmals ein Hohlraum mit einem eingeschlossenen Vakuum benötigt. Der Hohlraum ist in allen Figuren mit dem Bezugszeichen 10 dargestellt. Solche Hohlräume bzw. Volumina 10 können auf verschiedene Weise hergestellt werden. Beispielsweise kann eine Vertiefung durch Ätzen erzeugt werden. In einem darauffolgenden Schritt wird auf ein solchermaßen vorbehandeltes erstes Substrat 20 ein zweites Substrat 30 gebondet, wobei
25 auch hier verschiedene Verfahren, wie insbesondere das Seal-Glas-Bonden, das Wafer-Direktbonden oder das anodische Bonden zum Einsatz kommen können. Weiterhin ist es erfindungsgemäß auch vorgesehen, das erste Substrat 20 mit dem zweiten Substrat 30 zu verkleben oder zu löten. Diese Verbindungsprozesse werden meistens im Vakuum durchgeführt. Dies geschieht deswegen, weil in dem Hohlraum 10 nach dem
30 hermetischen Verschließen des Hohlraums 10 ein Vakuum herrschen soll. Oftmals ist es jedoch in nachteiliger Weise mit den Verbindungsprozessen verbunden, dass diese selbst mit einer prinzipbedingten Gasentwicklung verbunden sind, so dass der Innendruck des Hohlraums 10 nicht beliebig klein gemacht werden kann. Vor dem Verschließen des Hohlraums 10 wird daher erfindungsgemäß in das zu verschließende Volumen 10 bzw.
35 angrenzend an dieses ein Gettermaterial eingebracht, wobei durch das Gettermaterial die

entstehenden Gase gebunden werden und der Druck im Hohlraum 10 gesenkt werden kann. Als Gettermaterial wird erfindungsgemäß ausschließlich poröses Silizium vorgesehen. Dieses poröse Silizium ist in allen Figuren mittels eines Bereichs porösen Siliziums dargestellt, welcher mit dem Bezugszeichen 11 bezeichnet ist.

5 Erfindungsgemäß ist es bei der Verwendung von porösem Silizium als Gettermaterial vorteilhaft, dass zur Aktivierung der Gettereigenschaft des porösen Siliziums lediglich geringe Temperaturen notwendig sind. Solche geringen Temperaturen können leicht in Halbleiterprozesse integriert werden. Dies bedeutet, dass die Aktivierung des porösen Siliziums als Gettermaterial auch noch nach der Herstellung von Halbleiterbauelementen
10 möglich ist, wobei zu berücksichtigen ist, dass fertig gestellte Halbleiterbauelemente in der Regel eine geringere Temperaturfestigkeit aufweisen als das reine Halbleitermaterial, dass zu deren Herstellung diente. An der sehr großen Oberfläche des porösen Siliziums 11 kann z.B. Sauerstoff gebunden werden. Es entsteht dann poröses Siliziumdioxid aus dem gasförmigen Sauerstoff und dem porösen Silizium.

15 Ein besonders vorteilhaftes Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen Verfahrens und des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements ist es, das poröse Silizium als Sauerstoffgetter beispielsweise beim anodischen Bonden zu verwenden, wobei das anodische Bonden eine Verbindung von Silizium, insbesondere von Siliziumwafern,
20 mittels meist natriumhaltigem Glas bezeichnet. Bei diesem Prozess entsteht Sauerstoff an der Verbindungsfläche, der in Hohlräume und insbesondere in den Hohlraum 10 eindiffundiert und im Hohlraum 10 durch Gettermaterialien, wie insbesondere das erfindungsgemäße poröse Silizium 11, gebunden werden kann, um einen möglichst niedrigen Druck in dem Hohlraum 10 bzw. in der Kaverne 10 zu erzeugen. Das anodische
25 Bonden wird beispielsweise bei erhöhter Temperatur von erfindungsgemäß beispielhaft 400°C durchgeführt, bei der das poröse Silizium reaktiv ist und den entsprechenden Sauerstoff gleich im selben Prozess bindet. Bei einer optional nachfolgenden Temperung kann die Getterwirkung des porösen Siliziums bzw. des Bereichs des porösen Siliziums 11 verstärkt werden.

30 Auch beim Seal-Glas-Bonden entsteht u.a. Sauerstoff, der gebunden werden kann, womit der Innendruck in dem Hohlraum 10 bzw. in der Kaverne 10 zumindest teilweise gesenkt werden kann. Andere Gase außer Sauerstoff, die beim Seal-Glas-Bonden ebenfalls entstehen, können aber an der sehr großen Oberfläche des porösen Siliziums ebenfalls
35 adsorbiert werden und damit auch den Druck reduzieren.

Das poröse Silizium ist als Gettermaterial auch beim Silicon-Fusion-Bonding als Verbindungsprozess erfindungsgemäß vorteilhaft einsetzbar, wobei bei diesem Prozess hohe Temperaturen um ca. 1000°C erreicht werden, wobei jedoch das poröse Silizium nicht zerstört wird.

In Figur 1 ist eine Prinzipskizze des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements dargestellt. In einem abgeschlossenen Volumen, welches auch als Hohlraum 10 bezeichnet wird, ist an einer beliebigen Oberfläche, d.h. an einer beliebigen, an den Hohlraum 10 angrenzenden Stelle ein Bereich porösen Siliziums 11 vorgesehen, wobei das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement ein erstes Substrat 20 und ein zweites Substrat 30 aufweist, wobei das erste Substrat 20 mit dem zweiten Substrat 30 verbunden ist und zwischen den Substraten 20, 30 eine Zwischenschicht 25 vorgesehen ist. Erfindungsgemäß ist das erste Substrat 20 insbesondere als Siliziumsubstrat vorgesehen und das zweite Substrat 30 ist ebenfalls insbesondere als Siliziumsubstrat vorgesehen. In der Prinzipskizze der Figur 1 ist der Bereich des porösen Siliziums 11 im zweiten Substrat 30 vorgesehen. Wenn das zweite Substrat 30 als Siliziumsubstrat vorgesehen ist, ist die Erzeugung des Bereichs 11 porösen Siliziums besonders einfach mittels eines Ätzverfahrens in das Siliziummaterial des zweiten Substrats 30 möglich. Bei der Verbindung des ersten Substrats 20 mit dem zweiten Substrat 30 ist es erfindungsgemäß insbesondere vorgesehen, ein Wafer-Bonding-Verfahren bzw. einen Wafer-Bonding-Verfahrensschritt durchzuführen, wobei die Zwischenschicht 25 beispielsweise als Seal-Glas vorgesehen ist.

In Figur 2 ist eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements dargestellt. Das Bauelement weist das erste Substrat 20 auf, welches eine mikromechanische Struktur 200 aufweist. Zur Erzeugung der mikromechanischen Struktur ist beim ersten Substrat 20 insbesondere eine Opferschicht 21, beispielsweise in Form eines Opferoxids 21, vorgesehen. Weiterhin ist beim erfindungsgemäßen Bauelement beim ersten Substrat 20 zur Erzeugung der mikromechanischen Struktur 200 eine Funktionsschicht 22 vorgesehen, welche insbesondere mittels einer Epi-Polysiliziumschicht dargestellt ist. In dieser Funktionsschicht 22 umfasst die mikromechanische Struktur 200 beispielsweise Schwingerstrukturen. Weiterhin ist in Figur 2 das zweite Substrat 30 dargestellt, welches den Bereich 11 porösen Siliziums umfasst. Beim Zusammenfügen des ersten Substrats 20 mit dem zweiten Substrat 30 an

einer Verbindungsschicht 26 bildet sich durch die Strukturierung der Substrate 20, 30 der Hohlraum 10. Der Bereich porösen Siliziums 11, welcher an den Hohlraum 10 angrenzt, ist im zweiten Substrat 30 vorgesehen. Die mikromechanische Struktur 200 stellt insbesondere einen Beschleunigungs- oder Drehratesensor dar. Die Verbindungsschicht 26 umfasst insbesondere Sealglas.

In Figur 3 ist eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements dargestellt. Das erste Substrat 20 ist in diesem Fall im oberen Bereich der Figur 3 dargestellt. Das erste Substrat 20 wird auch als Sensorsubstrat bezeichnet. Im ersten Substrat bzw. am ersten Substrat 20 ist die mikromechanische Struktur 200 erzeugt, wobei hierzu wieder eine Opferschicht 21 und eine Funktionsschicht 22, insbesondere aus Epipolysilizium, vorgesehen ist. Als zweites Substrat 30 ist bei der zweiten Ausführungsform insbesondere ein Composit-Wafer vorgesehen, wobei der Composit-Wafer aus dem eigentlichen zweiten Substrat 30 und einer weiteren Verbindungsschicht 27 besteht, wobei die weitere Verbindungsschicht 27 insbesondere als Pyrex-Glasschicht mit dem eigentlichen zweiten Substrat 30 verbunden ist. Insofern bildet die weitere Verbindungsschicht 27 zusammen mit dem zweiten Substrat 30 den Composit-Wafer. Im Composit-Wafer ist ein Bereich porösen Siliziums 11 vorgesehen und eine sog. Schirmelektrode 50 vorgesehen. Die Schirmelektrode 50 ist insbesondere notwendig, um die Schwingerstrukturen der Funktionsschicht beim anodischen Bonden zu schützen. Die Schwingerstrukturen würden beim Anlegen einer Spannung, die für das später erfolgende anodische Bonden nötig ist, durch elektrostatische Kräfte nach oben gezogen und an das Substrat 20 gebondet werden. Die Schirmelektrode 50 ist teilweise geöffnet, so dass am Rand oder an Stellen, an denen keine Schwingerstrukturen der mikromechanischen Struktur 200 vorgesehen sind, eine Verbindung zwischen dem Hohlraum 10 und dem Bereich porösen Siliziums 11 hergestellt ist. Diese Öffnung der Schirmelektrode ist in Figur 3 mit dem Bezugszeichen 51 bezeichnet. Das zu evakuierende Volumen 10 bzw. der Hohlraum 10 ist damit mit dem Bereich porösen Siliziums 11 verbunden.

In Figur 4 ist eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements dargestellt. Bei der dritten Ausführungsform wird der Bereich porösen Siliziums 11 im ersten Substrat 20 vor dem Aufbringen der Opferschicht 21 bzw. der Funktionsschicht 22 erzeugt. Hieraus ergibt sich die in Figur 4 dargestellte Abfolge der Schichten, wobei zunächst das erste Substrat 20, anschließend der Bereich porösen

Siliziums 11, anschließend die (weggeätzte) Opferschicht 21 und daran anschließend die Funktionsschicht 22 folgt. Der Bereich porösen Siliziums 11, welcher im ersten Substrat 20 bei der dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements zuerst erzeugt wird, wird bei der Erzeugung der mikromechanischen Struktur 200 zunächst von dem Opferoxid 21 bzw. der Opferschicht 21 abgedeckt und anschließend auch von der Funktionsschicht 22 abgedeckt. Durch das Wegätzen der Opferschicht 21 zur Freilegung der mikromechanischen Struktur 200 wird das poröse Silizium bzw. der Bereich porösen Siliziums 11 wieder freigelegt und damit aktiviert.

Sowohl bei der Figur 3 als auch bei der Figur 4, d.h. bei der zweiten Ausführungsform und bei der dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Bauelements ist es erfindungsgemäß besonders vorteilhaft vorgesehen, dass die mikromechanische Struktur 200 einen Beschleunigungssensor bzw. einen Drehratesensor darstellt, wobei dies insbesondere in der in der Figur dargestellten Mikropackage-Technologie (MPT) vorgesehen ist.

In Figur 5 ist eine vierte Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements dargestellt. Die vierte Ausführungsform stellt einen Absolutdrucksensor mit porösem Silizium als Gettermaterial zur Erzeugung eines kleinen Innendrucks im Hohlraum 10 dar. Der Bereich porösen Siliziums ist wiederum mit dem Bezugszeichen 11 bezeichnet und befindet sich im ersten Substrat 20. Weiterhin umfasst das erfindungsgemäße Bauelement nach der vierten Ausführungsform eine Opferschicht 21 auf dem ersten Substrat 20, worauf eine Membran 60 vorgesehen ist. Die Oberseite der Membran 60, welche in Figur 5 in der Figur oben dargestellt ist, ist dem Umgebungsdruck des Drucksensors ausgesetzt, und im Hohlraum 10 ist, durch das Gettermaterial 11 verursacht, ein besonders niedriger Innendruck vorherrschend. Durch in Figur 5 nicht dargestellte Sensorelemente im Bereich der Membran 60 wird ein Durchbiegen der Membran 60 in Abhängigkeit der äußeren Druckverhältnisse detektiert und in elektrische Signale umgewandelt.

17.09.02 Sb/Bo

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Ansprüche



15

1. Mikromechanisches Bauelement mit einem Hohlraum (10) und mit einem an den Hohlraum (10) angrenzenden Bereich porösen Siliziums (11), dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich porösen Siliziums (11) zur Absenkung des Drucks in dem Hohlraum (10) vorgesehen ist.

20

2. Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein erstes Substrat (20) und ein zweites Substrat (30) vorgesehen ist, wobei zwischen dem ersten und dem zweiten Substrat (20, 30) eine Zwischenschicht (25, 26, 27) vorgesehen ist.

3. Bauelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Substrat (20, 30) an der Zwischenschicht (25, 26, 27) hermetisch dicht miteinander verbunden sind.



4. Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein erstes Substrat (20) und eine Membran (60) vorgesehen ist, wobei der Hohlraum (10) zwischen der Membran (60) und dem ersten Substrat (20) vorgesehen ist, wobei der Bereich porösen Siliziums (11) im ersten Substrat (20) vorgesehen ist.

30

5. Verfahren zur Herstellung eines Bauelements nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Substrat (20) eine mikromechanische Struktur (200) erzeugt wird, dass in einem zweiten Substrat (30) der Bereich porösen Siliziums (11) erzeugt wird und dass das erste und das zweite Substrat (20, 30) verbunden werden.

35

- 5 6. Verfahren zur Herstellung eines Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Substrat (20) der Bereich porösen Siliziums (11) erzeugt wird, dass in dem ersten Substrat (20) eine mikromechanische Struktur erzeugt wird und dass ein zweites Substrat (30) mit dem ersten Substrat (20) verbunden wird.

- 10 7. Verfahren zur Herstellung eines Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Substrat (20) der Bereich porösen Siliziums (11) erzeugt wird, wobei in dem ersten Substrat (20) eine mikromechanische Struktur erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich porösen Siliziums (11) aktiviert und dadurch der Druck gesenkt wird.

17.09.02 Sb/Bo

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Mikromechanisches Bauelement und Verfahren

Zusammenfassung

15

Es wird ein mikromechanisches Bauelement und ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements vorgeschlagen, wobei ein Hohlraum (10) und ein Bereich porösen Siliziums (11) vorgesehen ist, wobei der Bereich porösen Siliziums (11) zur Absenkung des Druckes in dem Hohlraum (10) vorgesehen ist.

20

1/2

Fig 1

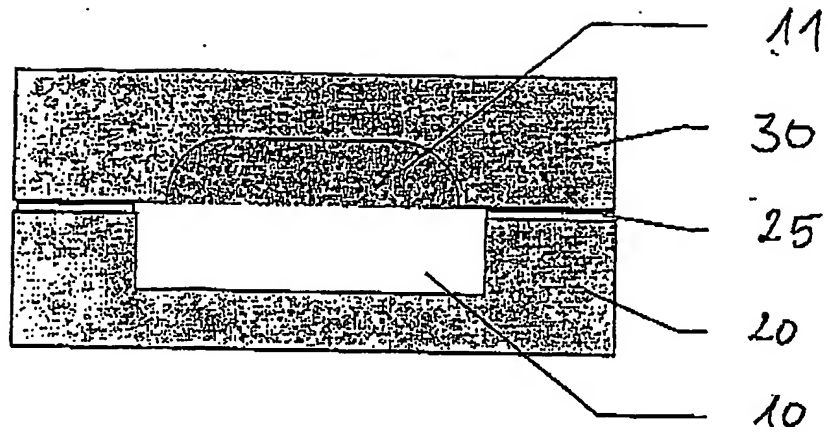


Fig 2

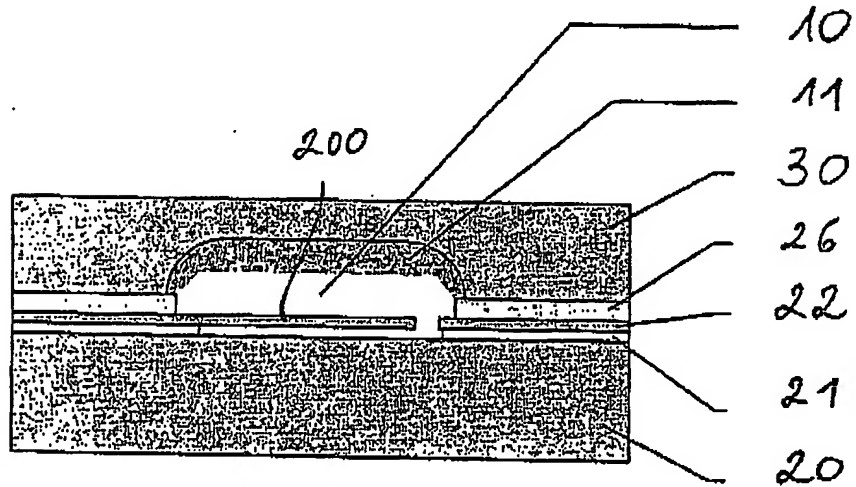
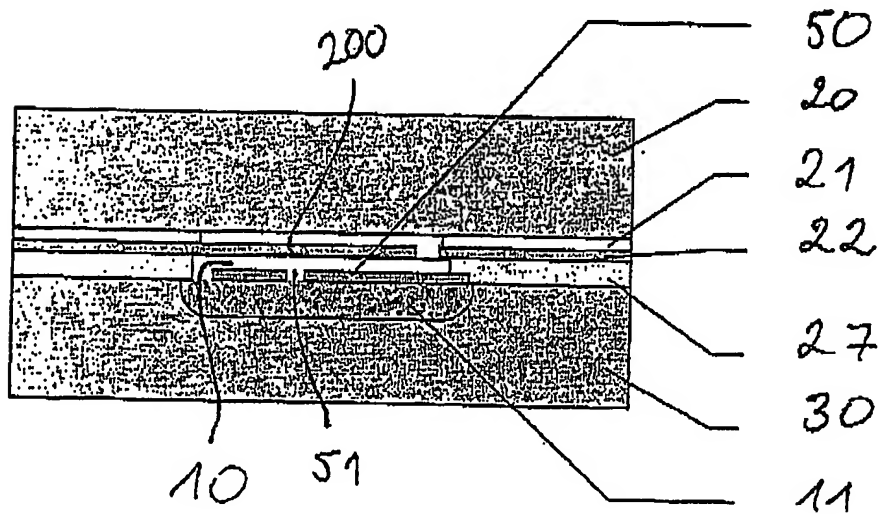


Fig 3



2/2

Fig 4

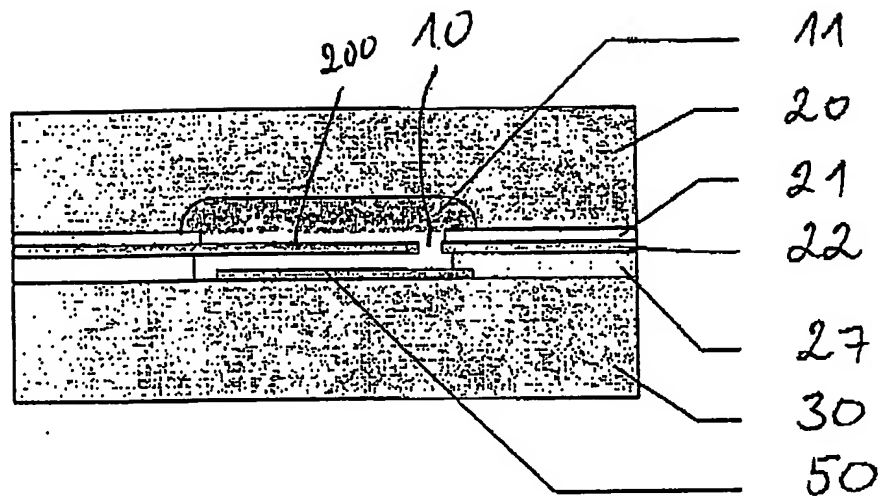


Fig 5

